Série TD N° 02

* Exo 1 :

1) on a l'energie d'un photon : $E = h\nu$ avec $\nu = \frac{c}{\lambda}$.

$$\Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda}.$$

→ conservation d'energie :

$$E = E_1 + E_2 \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_1} + \frac{hc}{\lambda_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\Rightarrow \boxed{\lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda}{\lambda_1 - \lambda}}$$

AN : $\lambda_2 = \frac{1216 \cdot 1026}{1216 - 1026}$.

$$\Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 6566,4\,A°}$$

2)

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}} = \frac{1026 \cdot 1875}{1026 + 1875}$$

$$\Rightarrow \boxed{\lambda = 663\,A°}$$

* Exo 2 :

1) Le niveau de Fermis (E_{Fi}) :

on a : $E_{Fi} = \frac{E_c - E_v}{2} = \frac{E_g}{2} \Rightarrow E_{Fi} = \frac{0,66}{2}$

$$\Rightarrow \boxed{E_{Fi} = 0,33\,eV}$$

2) La concentration intrinsèque (n_i) :

$$n_i = 2\left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^{3/2}\left(m_e^* \cdot m_h^*\right)^{3/4} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

on a : $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ cte de Boltzman

$\Rightarrow kT = 0,026\ eV$ (à $T = 300°K$).

$$n_i = 2\left(\frac{2 \times 3,14 \times 1,38 \cdot 10^{-23} \times 300}{(6,62 \cdot 10^{-34})^2}\right)^{3/2} \cdot \left(0,59 \cdot 10^{-31}\right) e^{-\frac{0,66}{2 \cdot 0,026}}.$$

avec :

$$m_e^* = m_h^* = 0,59 \cdot m_0 = 0,59 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}$$

$$\boxed{n_i = 2,96 \cdot 10^{13}\ \text{atomes}/cm^3}$$

3)° Nombre d'atomes de Ge qui donnent naissance à une paire e/t.

$$m_v = \frac{m}{V} = \frac{N_a \cdot \frac{M}{N}}{V} = \frac{N_0}{V} \cdot \frac{M}{N} = n_{Ge} \cdot \frac{M}{N}.$$

$$n_{Ge} = \frac{m_v N}{M} = \frac{5,33 \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{72,59} = 4,4 \cdot 10^{22}\ at/cm^3$$

d'où : $4,4 \cdot 10^{22}\ at/cm^3 \xrightarrow{\text{donnent}} 2,96 \cdot 10^{13}\ (e, t)$.

<u>Avec :</u> $\begin{cases} N = 6,023 \cdot 10^{23} & \text{Nombre d'Avogadro} \\ m_v : & \text{masse volumique.} \end{cases}$

<u>Mais</u> :

$$N_0 = \frac{n_{Ge}}{n_i} = \frac{4,4 \cdot 10^{22}}{2,96 \cdot 10^{13}} = 1,48 \cdot 10^9\ \text{atomes}$$

Donc : $1,48\ 10^9$ atomes $\xrightarrow{\text{donnent}}$ une paire (e, t)

* Exo 3 :

1)° Les expressions n et p :

$$n = N_c \, e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}} \qquad p = N_V \, e^{\frac{E_V - E_F}{kT}}$$

2)° on a : $n = p = n_i$

$$n_i = N_c \, e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}} = N_V \, e^{\frac{E_V - E_F}{kT}}$$

$$\Rightarrow n_i^2 = n \cdot p \Rightarrow n_i = \sqrt{n \cdot p}$$

$$n_i = \sqrt{N_c \cdot N_V} \, e^{-\frac{E_c - E_V}{2kT}}$$

$$\frac{n}{p} = 1 \Rightarrow \frac{N_c}{N_V} \, e^{-\frac{E_c - E_V - 2E_{Fi}}{kT}} = 1$$

$$\Rightarrow \frac{-E_c + E_V + 2E_{Fi}}{kT} = \ln\left(\frac{N_V}{N_c}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{Fi} = \frac{E_c - E_V}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_V}{N_c}\right)}$$

3)°

$$n_i = \sqrt{N_c \cdot N_V} \, e^{-\frac{E_c - E_V}{2kT}} .$$

à $T = 300°K \Rightarrow kT = 0,026 \, eV$

$$= \sqrt{2,7 \cdot 10^{19} \cdot 1,1 \cdot 10^{19}} \, e^{-\frac{1,1}{2} \cdot 0,026} \Rightarrow \boxed{n_i = 1,12 \cdot 10^{10} \, cm^{-3}}$$

↳ à 300°K

$$E_{Fi} = \frac{E_c - E_V}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_V}{N_c}\right)$$

$$= \frac{1,1 - 0}{2} + \frac{0,026}{2} \ln\left(\frac{1,1 \cdot 10^{19}}{2,7 \cdot 10^{19}}\right) \Rightarrow \boxed{E_{Fi} = 0,538 \, eV}$$

à 300°K

Donc, il faut calculer à $T = 27°C = 27 + 273 = 300°K$

$T = 127°C = 127 + 273 = 400°K$

$T = 227°C = 227 + 273 = 500°K$

Donc : à $T = 300°K \Rightarrow kT = 0{,}026\ eV$

$T = 400°K \Rightarrow kT = 1{,}38.10^{-23}.400 = 552.10^{-23}$ Joule

$= 552.10^{-23}\ J$

mais en eV :

$$kT = \frac{552.10^{-23}}{1{,}6.10^{-19}} \simeq \cancel{0{,}026\ eV}\ 0{,}0345\ eV.$$

à $T = 500°K \Rightarrow kT = 1{,}38.10^{-23}.500$

$= 690.10^{-23}\ J$

$$kT = \frac{690.10^{-23}}{1{,}6.10^{-19}} = 0{,}0431\ eV.$$

Donc il faut calculer n_i et E_{F_i} à 400°K et 500°K.

---

*Exo4 :

à 27°C = 300°K

1)° Le phosphore est un donneur : $N_D = 10^{18}\ cm^{-3}$

$N_D >> n_i$ ainsi la densité d'é = densité de donneurs

$n = N_D = 10^{18}\ cm^{-3}$

$\boxed{n_i = 1{,}12.10^{10}\ cm^{-3} \text{ d'après l'exo 3 à } 300°K}$

à 300°K : $p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1{,}12 \times 10^{10})^2}{10^{18}}$

$\boxed{P = 125\ cm^{-3}}$ le SC est de type N

2)° $n = N_D = N_c\, e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}} \Leftrightarrow N_D = N_c\, e^{-\frac{E_c - E_{F_i} + E_{F_i} - E_F}{kT}}$.

$\Leftrightarrow N_D = n_i\, e^{-\frac{E_{F_i} - E_F}{kT}}$

$\Rightarrow E_F = E_{F_i} + kT \ln\left(\frac{N_D}{n_i}\right) \Leftrightarrow E_F = 0{,}538 + 0{,}026 \ln\left(\frac{10^{18}}{1{,}12.10^{10}}\right) \Rightarrow \boxed{E_F = 1{,}014\ eV}$